

Б.І. Приймак, канд. техн. наук, ст. викл., **М.П. Малько**, студент (Нац. техн. ун-т України “КПІ”, Київ)

МОДИФІКОВАНИЙ РЕГУЛЯТОР ПОЛОЖЕННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ПІДПОРЯДКОВАНОЇ СТРУКТУРИ З ТИПОВИМ НАЛАШТУВАННЯМ КОНТУРІВ

Запропоновано модифікований регулятор положення для електроприводів підпорядкованої структури з типовими налаштуваннями контурів регулювання. Новий регулятор дозволяє отримати поліпшені динамічні та статичні показники якості керування, а процедура його синтезу є досить простою.

Предложен модифицированный регулятор положения для электроприводов подчиненной структуры с типовыми настройками контуров регулирования. Новый регулятор позволяет получить улучшенные динамические и статические показатели качества управления, а процедура его синтеза достаточно проста.

The modified regulator of position for electric drives of the cascade structure with typical adjustments of contours of regulation is proposed. The new regulator allows to receive the improved dynamic and static parameters of control quality, and procedure of its synthesis is simple enough.

1. Вступ. Як відомо, електромеханічні системи (ЕМС) керування положенням мають широке застосування у промисловості. Зокрема, такі системи використовуються у маніпуляторах, роботах, металообробних верстатах, прокатних станах, телескопах, антенах і т.п [1-2]. На сьогодні промислові системи регулювання положення в основному будуються за принципами підпорядкованого керування. При цьому до комплектного електропривода з контурами регулювання струму та швидкості додається аналоговий чи цифровий регулятор положення. Характерними вимогами до систем автоматичного регулювання (САР) положення є забезпечення достатньо високих динамічних та статичних показників якості регулювання при жорсткому обмеженні перерегулювання (зазвичай не більше 10-15 %), а для деяких застосувань перерегулювання має бути відсутнім.

У цій статті запропоновано модифікований регулятор положення в електромеханічній САР підпорядкованого керування, де контур швидкості налаштовано на симетричний оптимум (СО), а підпорядкований йому контур регулювання струму – на модульний оптимум (МО). Як відомо [1-2], вказані налаштування контурів є традиційними для ЕМС з достатньо великим діапазоном регулювання швидкості. Модифікований регулятор положення, у порівнянні з традиційним, дозволяє істотно поліпшити швидкодію системи та збільшити вдвічі добротність САР за швидкістю. При цьому процедура синтезу нового регулятора не є складною.

2. Традиційний регулятор положення. Узагальнена структура САР положення представлена на рис.1, де ω , φ – кутові або лінійні швидкість та положення ЕМС; ω^* , φ^* –

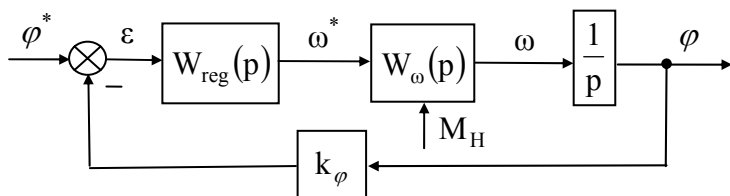


Рис.1

завдання швидкості та положення відповідно; ε – помилка системи; M_H – момент навантаження двигуна; $W_{\omega}(p)$ – передавальна функція (ПФ) замкнутого контуру регулювання швидкості; $W_{reg}(p)$ – ПФ регулятора положення; k_{φ} – коефіцієнт передачі давача положення. Якщо контур

струму налаштувати на МО, а контур швидкості – на СО, то, згідно з [1, 2], останній в замкнутому стані можна описати ПФ

$$W_{\omega}(p) = k_{\omega}^{-1} (8T_{\mu}p + 1) / (64T_{\mu}^3 p^3 + 32T_{\mu}^2 p^2 + 8T_{\mu}p + 1), \quad (1)$$

де T_{μ} – мала некомпенсована стала часу у контурі струму; k_{ω} – коефіцієнт передачі давача швидкості.

В [1, с. 211] представлено традиційний варіант синтезу регулятора положення із налаштуванням на МО. Спочатку на основі (1) приймається, що некомпенсована стала часу у контурі положення дорівнює $8T_{\mu}$. Тоді записується бажана ПФ розімкненого контуру положення $W'_{\phi}(p)$ при налаштуванні його на МО у вигляді

$$W'_{\phi}(p) = 1/16T_{\mu}p (64T_{\mu}^3 p^3 + 32T_{\mu}^2 p^2 + 8T_{\mu}p + 1). \quad (2)$$

За схемою на рис.1 маємо $W'_{\phi} = k_{\phi} W_{reg} W_{\omega} / p$, звідки, при врахуванні (2), визначається ПФ регулятора положення як

$$W_{reg}(p) = k_{\omega} k_{\phi}^{-1} / 16T_{\mu} (8T_{\mu}p + 1). \quad (3)$$

З регулятором (3) замкнена САР положення ЕМС описуватиметься ПФ

$$W_{\phi}(p) = k_{\phi}^{-1} / (1024T_{\mu}^4 p^4 + 512T_{\mu}^3 p^3 + 128T_{\mu}^2 p^2 + 16T_{\mu}p + 1). \quad (4)$$

3. Модифікований регулятор положення. Запропонуємо нове розв'язання задачі синтезу регулятора положення. Аналіз знаменника (1) показує, що його можна розкласти на співмножники $16T_{\mu}^2 p^2 + 4T_{\mu}p + 1$ та $4T_{\mu}p + 1$. Задамося умовою, щоб 1-й із цих співмножників компенсувався аналогічним поліномом у чисельнику ПФ регулятора положення. У цьому разі некомпенсована стала часу у контурі положення дорівнюватиме $4T_{\mu}$, а бажана ПФ розімкненого контуру $W'_{\phi}(p)$ при налаштуванні на МО буде

$$W'_{\phi}(p) = 1/8T_{\mu}p (4T_{\mu}p + 1). \quad (5)$$

Оскільки $W'_{\phi} = k_{\phi} W_{reg} W_{\omega} / p$, враховуючи (5) отримаємо ПФ регулятора положення як

$$W_{reg}(p) = k_{\omega} (8T_{\mu}k_{\phi})^{-1} (16T_{\mu}^2 p^2 + 4T_{\mu}p + 1) / (8T_{\mu}p + 1). \quad (6)$$

З регулятором (6) замкнена САР положення ЕМС описуватиметься ПФ

$$W_{\phi}(p) = k_{\phi}^{-1} / (32T_{\mu}^2 p^2 + 8T_{\mu}p + 1). \quad (7)$$

Отриманий нами регулятор є ідеалізованим, оскільки в ПФ (6) степінь чисельника перевищує степінь знаменника. Для уможливлення його фізичної реалізації домножимо знаменник (6) на поліном $bT_{\mu}p + 1$, де коефіцієнт b є деяким додатним числом $b > 0$. У підсумку отримаємо “реальний” регулятор у вигляді форсувально-інерційної ланки 2-го порядку з ПФ

$$W_{reg}(p) = k_{\omega} (8T_{\mu}k_{\phi})^{-1} (16T_{\mu}^2 p^2 + 4T_{\mu}p + 1) / (8bT_{\mu}^2 p^2 + (8+b)T_{\mu}p + 1), \quad (8)$$

а замкнута САР положення з цим регулятором матиме ПФ

$$W_{\varphi}(p) = k_{\varphi}^{-1} / (32bT_{\mu}^3 p^3 + (32 + 8b)T_{\mu}^2 p^2 + 8T_{\mu} p + 1). \quad (9)$$

4. Аналіз отриманих результатів. На рис.2 зображено реакції САР з ПФ (4) та (7) на стрибкоподібне завдання (криві 1 та 2 відповідно), де φ_{∞} – усталене значення регульованої змінної. За кривою 1 маємо такі показники якості: перерегулювання $\sigma = 6,2\%$; час регулювання $t_p = 40,7T_{\mu}$; час наростання (інтервал часу від зміни $\varphi^*(t)$ до моменту досягнення $\varphi(t) = \varphi_{\infty}$) $t_n = 28,5T_{\mu}$. За кривою 2 показники якості є наступними: $\sigma = 4,3\%$; $t_p = 16,6T_{\mu}$; $t_n = 18,8T_{\mu}$. За цими даними можна зазначити, що запропонований регулятор, у порівнянні з традиційним, дозволяє істотно поліпшити швидкодію САР положення.

Як відомо, одним із основних показників точності систем регулювання положення є добротність за швидкістю, що кількісно дорівнює відношенню швидкості руху ЕМС до помилки системи в усталеному режимі відпрацювання лінійно-змінюваного завдання положення. В такому режимі роботи помилку САР називають швидкісною. Оскільки в контурі регулювання положення, зображеному на рис.1, є інтегрувальна ланка, то добротність САР за швидкістю дорівнюватиме статичному коефіцієнту передачі регулятора (3) чи (6). Підставивши в (3) та (6) $p = 0$, отримаємо статичні коефіцієнти передачі регуляторів. Порівнявши ці коефіцієнти бачимо, що регулятор з ПФ (6) забезпечить вдвічі більшу добротність САР за швидкістю ніж регулятор з ПФ (3). На рис.3 зображено помилки САР з ПФ (4) та (7) (криві 2 та 3 відповідно) при лінійно-змінюваному φ^* (крива 1).

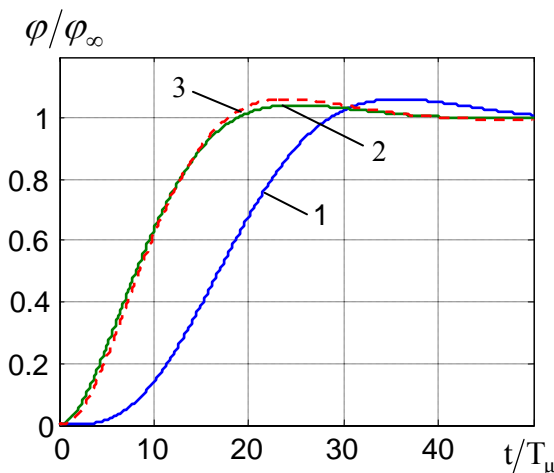


Рис.2

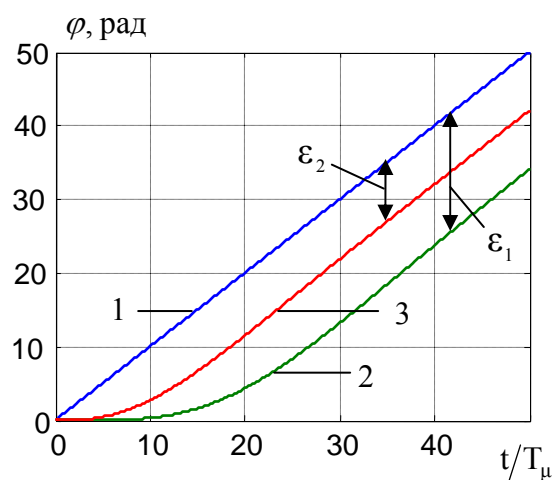


Рис.3

Аналізуючи графіки бачимо, що помилка ϵ_2 вдвічі менша від помилки ϵ_1 . Тобто САР з ПФ (7), а значить і з ПФ (9), забезпечить вдвічі меншу швидкісну помилку ніж САР з ПФ (4).

На основі чисельних досліджень було встановлено, що динамічні характеристики систем з ПФ (7) та (9) відрізнятимуться не надто сильно, якщо коефіцієнт b в ПФ (8) вибирати в інтервалі $0,1 \leq b \leq 1,2$. На рис.2 крива 3 є перехідною функцією САР з ПФ (9) для $b = 0,5$. Бачимо, що криві 2 та 3 відрізняються досить мало.

Щоб при синтезі спростити вибір b , шляхом апроксимації отриманих при моделюванні САР з ПФ (9) чисельних даних, визначено аналітичні залежності

$$\sigma = 0,798b^2 + 3,61b + 4,3 \text{ (\%)}; \quad t_n = (0,574b^2 - 2,12b + 18,8)T_{\mu} \text{ (с)}. \quad (10)$$

Для вибору у першому наближенні коефіцієнта b також можна використовувати рис. 4, де представлено отримані шляхом моделювання САР з ПФ (9) криві $\sigma(b)$, $\underline{t}_n(b)$ та $\underline{t}_p(b)$, де, у

$\sigma, \%$; $\underline{t}_n, \text{в.о.}$; $\underline{t}_p, \text{в.о.}$

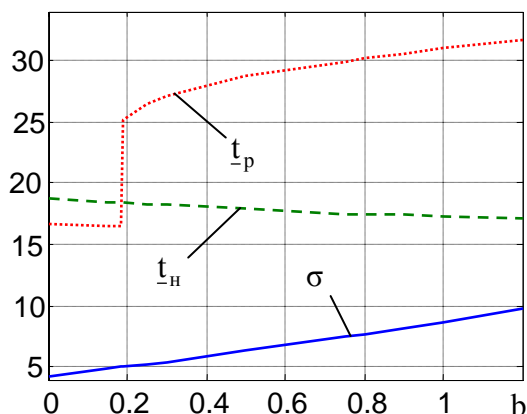


Рис.4

свою чергу, $\underline{t}_n = t_n / T_\mu$, $\underline{t}_p = t_p / T_\mu$.

Отже, синтез модифікованого регулятора полягатиме у виконанні наступних кроків.

1. Встановити на основі технічної документації ЕМС значення параметрів T_μ , k_ω і k_ϕ .
2. Виходячи із вимог до САР положення, за допомогою (10) та рис.4 вибрати у першому наближенні коефіцієнт b .
3. Промодельовавши САР положення з регулятором (8) у необхідних режимах роботи, зробити висновок про відповідність показників якості роботи системи заданим.
4. У разі негативного висновку скорегувати коефіцієнт b і повернутися до пункту 3.
5. При позитивному висновку синтез закінчено.

Отже за описаними кроками бачимо, що навіть при здійсненні декількох ітерацій для вибору b , процедура синтезу регулятора (8) залишається достатньо простою.

Підсумки. Запропоновано модифікований регулятор положення в електромеханічній САР підпорядкованої структури з типовими налаштуваннями контурів керування змінними. Новий регулятор, у порівнянні з традиційним варіантом, дозволяє істотно поліпшити швидкодію системи при помірному перерегулюванні та зменшити вдвічі швидкісну помилку САР. При цьому процедура синтезу модифікованого регулятора є досить простою.

1. Ключев В.И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов : учебник для вузов / В.И. Ключев, В.М. Терехов. – М. : Энергия, 1980. – 360 с.
2. Михайлов О.П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов : учебник для вузов / О.П. Михайлов. – М. : Машиностроение, 1990. – 304 с.